



ارزیابی آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع در مقابل باریکه پروتونی با استفاده از روش CFD

محمد فدوی‌مزیانی^{۱*}، مسعود خزاعی‌فدافان^۱، علی اصغر مولوی^۲

۱. گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، صندوق پستی: ۱۴۳۵۷۶۳۸۱۱، تهران - ایران
۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، کدپستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، مشهد - ایران

*Email: fadavi54@gmail.com

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۳/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۴/۲۶

چکیده

یکی از کاربردهای آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع، آشکارسازی ذرات باردار در آهنگ گیگاهرتز است. ارزیابی این آشکارسازها در مقابل باریکه پروتونی به منظور شمارش تعداد ذرات باریکه و سپس استفاده از شمارش ذرات جهت بهینه‌سازی سیستم تحویل دز در درمان تومورهای سرطانی با ذرات باردار می‌تواند قدم مؤثری در راستای توسعه درمان سرطان باشد. در واقع این ارزیابی، پیش‌نیاز و تضمین استفاده از این آشکارسازها در سیستم تحویل دز است. در این راستا بهترین روش زمان‌سنجی سیگنال‌ها که همان CFD بود، انتخاب شد. جهت اندازه‌گیری و تجزیه تحلیل سیگنال‌های خروجی آشکارساز از نرم‌افزار متلب استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع با ضخامت ۵۰ میکرومتر و هندسه‌های مختلف که در چند آزمایش متفاوت در مرکز سرطان درمانی CNAO ایتالیا انجام شد و هم چنین داده‌هایی که در آزمایشگاه شتاب‌دهنده CERN آلمان به دست آمده بود با روش CFD مورد بررسی قرار گرفت. نتایج محاسبات و انحراف معیار از اجرای برنامه‌های مختلف در نرم‌افزار متلب برای سیگنال‌های ثبت شده نشان دادند که اولاً این آشکارسازها برای شمارش ذرات پروتون در آهنگ گیگا هرتز قابل اعتماد هستند و ثانیاً ابزار CFD می‌تواند با اطمینان کامل جهت ثبت سیگنال‌های خروجی آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع استفاده شود. لذا می‌توان از آن‌ها در تصحیح سیستم تحویل دز به عنوان شمارنده تعداد پروتون باریکه پروتونی استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع، سیستم تحویل دز، زمان‌سنجی، پروتون درمانی

UFSD Test with Proton Beam by Using CFD Method

M. Fadavi Mazinani^{1*}, M. Khazaei Fadafan¹, A.A. Mowlavi²

1. Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University, P.O.BOX: 1435763811, Tehran - Iran
2. Department of Physics, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Postal Code: 9177948974, Mashhad - Iran

Research Article

Received 28.5.2022, Accepted 17.7.2022

Abstract

Detecting the charge particles at Giga hertz rate is one of the applications of UFSD (Ultra-Fast Silicon Detectors). The UFSD test in front of the proton beam to count the beam particles and use it for a more precise Dose Delivery System for the treatment of the cancerous tumor by charge particles can become an effective step for the development of cancer treatment. In fact, this assessment is a prerequisite and guarantees the use of these detectors in the dose delivery system. In this regard, the best method for time measurement, which was CFD, was chosen. MATLAB software was used to measure and analyze the UFSD output signals. The results of the 50- μm -thick UFSD test and the various geometries that we performed in several different experiments at the CNAO Cancer Treatment Center in Italy, as well as the data obtained at the laboratory of CERN accelerator in Germany, were analyzed by the CFD method. The results of many different runs of programs in MATLAB for many registered signals show: 1- These sensors are reliable to count the proton particles in Giga hertz rate. 2-The CFD devices could be used to record the UFSD output signals. Therefore, they can be used in the correction of the dose delivery system as a counter for the proton number of the proton beam.

Keywords: Ultra-fast silicon detectors (UFSD), Dose delivery system (DDS), Time measurement, Proton therapy



۱. مقدمه

گونه‌ای از آشکارسازهای سیلیکونی به شیوه‌ای طراحی شده و توسعه یافته‌اند که ضریب تقویت بالایی داشته و در مواجه با مقدار اندکی بار الکتریکی، سیگنال خروجی قابل ملاحظه‌ای را ارائه می‌دهند. ایمنی و راندمان بالایی در جمع‌آوری بار داشته و توان تفکیک زمانی بسیار خوبی را فراهم می‌آورند. آشکارسازهای با این قابلیت را آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع^۱ می‌نامند و در آن‌ها توان تفکیک زمانی به کم‌تر از ۳۰ پیکوثانیه می‌رسد [۱]. آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع جدید با نسبت سیگنال به نویز بزرگ‌تر نسبت به مدل‌های قدیمی و بهره داخلی بالا باعث می‌شود آن‌ها برای تفکیک زمانی دقیق‌تر و بنابراین برای شمارش ذره در آهنگ گیگاهرتز ایدآل باشند [۲]. در آزمایش‌های قبل سیگنال‌های خروجی آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع که با استفاده از دستگاه مولدسیگنال و هم‌چنین نرم‌افزار Weightfield^۲ [۳] شبیه‌سازی شده‌اند و هم‌چنین سیگنال‌های عملی که از آزمایش این آشکارسازها در مقابل پرتو پیکولیزر به دست آمده بودند، جهت زمان‌سنجی (TM) بررسی شدند. این سیگنال‌ها با به‌کارگیری روش‌های زمان‌سنجی مثل CC^۳ و TOT^۴ و CFD^۵ مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفتند که مطمئن‌ترین روش CFD شناخته شد [۴]. لذا ابتدا در بخش ۲ این روش توضیح داده شده و سپس در بخش ۳ مجموعه داده‌ها که مشتمل بر ۴ نوع است معرفی می‌شوند که یک دسته از آن‌ها متشکل از داده‌هایی است که در آزمایشگاه CERN^۶ آلمان به دست آمده و سه دسته دیگر داده‌هایی هستند که در آزمایشگاه CNAO^۷ ایتالیا توسط نگارنده و همکاران به دست آمده است. چگونگی حصول داده‌های تجربی و نحوه آزمایش این آشکارسازها در مقابل باریکه پروتونی در مرکزسرطان درمانی در ایتالیا بیان خواهد شد. داده‌های مختلف از چهار مجموعه آزمایش که در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ انجام شده است با کدنویسی نگارنده در نرم‌افزار MATLAB و پیاده‌سازی روش CFD مورد بررسی قرار خواهد گرفت. متمایز بودن این تکنیک که بر مبنای استفاده از داده‌های تجزیه و تحلیل شده است و نه بر مبنای استفاده از داده‌های خالص و ابتدایی، علاوه بر تضمین استفاده از

سیگنال‌های تولید شده توسط آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع، می‌تواند شیوه نوری باشد در بررسی سیگنال‌های خروجی آشکارسازهای دیگر که در آهنگ گیگاهرتز تولید می‌شوند. این روش دقت و حساسیت در به‌دست آوردن سیگنال‌ها و نهایتاً قطعیت در شمارش و ارسال تعداد پروتون‌های لازم به تومور سرطانی در سیستم تحویل دُز را نوید می‌دهد که خود گام بسیار مؤثری در پروژه بهینه‌سازی سیستم پروتون درمانی در درمان سرطان است. تحقیق حاضر پیش زمینه آن پروژه بوده و در راستای اهداف آن تعریف و انجام شده است.

۲. روش تفکیک‌کننده کسر ثابت (CFD) در زمان‌سنجی

با در نظر گرفتن یک سیگنال مثلثی: $v_t = t \times \tan \alpha$ که $\tan \alpha = \frac{V_m}{t_m}$ و در آن V_m ولتاژ ماکزیمم و t_m زمان وقوع ولتاژ ماکزیمم است. حال اگر این سیگنال یک بار کمی شیفت زمانی یا تأخیر داده شود (t_d) و یک بار هم با ضریب k تضعیف شود (فرمول ۱) و سپس دو سیگنال حاصله به یک مدار مقایسه‌گر داده شود. بدیهی است که نقطه عبور از صفر سیگنال خروجی مقایسه‌گر، زمانی خواهد بود که این دو سیگنال با هم برابرند (فرمول ۲). لذا با برابر قراردادن فرمول این دو سیگنال دیده می‌شود که زمان وقوع این رویداد به دامنه بستگی ندارد.

$$v_{t1} = (t - t_d) \cdot \frac{V_m}{t_m}, \quad v_{t2} = k \cdot t \cdot \frac{V_m}{t_m} \quad (1)$$

$$(t - t_d) \cdot \frac{V_m}{t_m} = k \cdot t \cdot \frac{V_m}{t_m} \Rightarrow t = \frac{t_d}{1 - k} \quad (2)$$

و البته این همان چیزی است که انتظار می‌رود؛ یعنی تعیین یک نقطه زمانی که به دامنه و یا انرژی وابسته نباشد [۵، ۶]. اینک می‌توان با مدارات الکترونیکی با این روش سیگنال‌هایی را که با یک انحراف کم‌تر از ۱۰۰ پیکو ثانیه از این نقطه می‌گذرند را گیراندازی کرد و این سیگنال‌های به‌دست آمده قابل قبول خواهند بود. این روش نه تنها پاسخ‌گوی تمام داده‌ها در رنج نانوثانیه بوده است بلکه انحراف‌معیار مطلوبی هم به دست داده است و نتایج خوبی را برای تحلیل سیگنال‌های متفاوت و مخصوصاً داده‌های تجربی به‌دست می‌دهد و ضمناً ساخت مدار الکترونیکی برای این روش جهت زمان‌سنجی واقعی یا سخت‌افزاری از دو روش دیگر ساده‌تر و پرکاربردتر است [۴].

1. UFSD (Ultra- Fast Silicon Detectors)
2. Time Measurement
3. Cross-Correlation
4. Time Over Threshold
5. Constant Fraction Discriminator
6. European Council for Nuclear Research
7. Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica



جدول ۱. نمونه انحراف معیارهای به دست آمده از تجزیه تحلیل داده‌های

CER.

نام آزمون	کل رویدادها	رویدادهای واقعی	ولتاژ آستانه	انحراف معیار (ps)
RUN10	۱۰۰۰۰	۲۳۸۱	۱۳۰	۱۴۸
RUN10	۱۰۰۰۰	۲۲۱۵	۱۴۰	۹۳
RUN10	۲۰۰۰۰	۴۵۰۰	۱۳۵	۹۲
RUN20	۱۰۰۰۰	۳۷۵۴	۱۶۰	۵۷
RUN24	۱۰۰۰۰	۲۶۲۶	۱۲۰	۹۵
RUN24	۱۰۰۰۰	۲۵۸۳	۱۶۰	۸۹

۲.۲ آزمایش آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع در مقابل باریکه پروتونی در CNAO

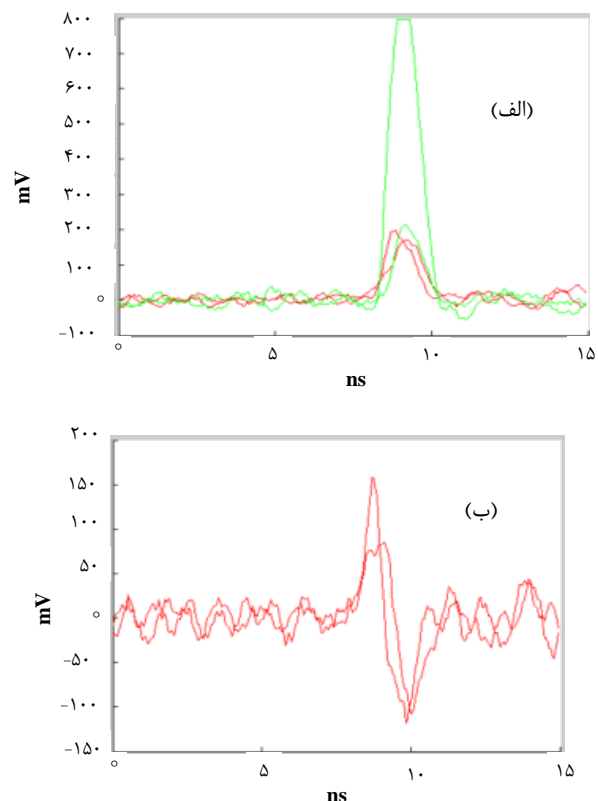
CNAO مرکز علمی درمان سرطان که در شهر پابویا در شمال ایتالیا واقع است و مجهز به شتاب‌دهنده‌ای است که توانایی تولید باریکه‌های پروتونی و یون کربن را دارد. در این مرکز یک بیمارستان هم بنا شده است که سه اتاق درمان تومورهای سرطانی دارد. سیستم تحول دژ DDS در آن بر پایه پراکندگی فعال بوده و پس از هدایت پرتو پروتون توسط گانتری به اتاق درمان، هنگام بیرون آمدن پرتو از خلأ با فاصله حدود ۳۰ cm وارد بدن بیمار شده و با هدایت و کنترل دستگاه‌های رویش نقطه‌ای، تومور را اسکن می‌کند و سلول‌های سرطانی را طی چند مرحله منهدم می‌کند [۷]. در اولین آزمایش که در دسامبر سال ۲۰۱۶ توسط نگارنده و همکاران انجام شد برای به حداقل رساندن نویز، دو آشکارساز مورد نظر به همراه پیش‌تقویت‌کننده‌ها در داخل یک جعبه آلومینیومی قرار داده می‌شوند که با توجه به ابعاد آشکارسازها باید ساخته و آماده شود. فیبر مدار دو آشکارساز ($1\text{ mm}^2 \times 50\ \mu\text{m}$) به صورت پشت به پشت به هم متصل و پیچ شدند تا باریکه دقیقاً از هر دو عبور کند (شکل ۲).

بالاخره ابزار و برنامه‌های لازم جهت آزمایش فراهم گردید و مداری طراحی شد که نحوه به هم‌بندی اجزاء مدار در شکل ۳ مشخص شده است. با توجه به نوع آزمایش ابزار و دستگاه‌های مناسب انتخاب شدند که دفترچه راهنمای آن‌ها در پیوست آورده شده است [۸-۱۷].

۳. مجموعه داده‌ها

مجموعه سیگنال‌ها یا داده‌هایی که براساس روش‌های فوق مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت عبارتند از:

۱.۳ داده‌های به دست آمده از آزمایش آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریع در مقابل باریکه پروتونی در آزمایشگاه CERN قبل از انجام آزمایش، ابتدا از داده‌های آماده‌ای که در آزمایشگاه شتاب‌دهنده CERN آلمان در سال ۲۰۱۵ به دست آمده بود استفاده شد. این داده‌ها، سیگنال‌های خروجی آشکارسازهای سیلیکونی فوق‌سریعی است که در مقابل باریکه پروتونی قرار گرفته‌اند. پس از پیاده‌سازی روش CFD روی داده مورد نظر (شکل ۱)، خلاصه‌ای از نتایج در جدول ۱ آورده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود مقادیر متفاوتی از انحراف معیار ولی نزدیک به هم برای چند دسته داده مختلف به دست آمده است. ولی کلاً با تعداد داده ۱۰۰۰۰ یا ۲۰۰۰۰ از مجموعه‌های متفاوت، می‌توان گفت انحراف معیار به طور متوسط حدود ps ۱۰۰ (حدود ns ۲/۵) عدد بسیار کوچک و قابل قبولی است.



شکل ۱. نمونه جفت سیگنال‌های مورد بررسی (الف) (ثبت شده در آزمایشگاه CERN) و منحنی به دست آمده با اجرای روش CFD روی این سیگنال‌ها (ب).



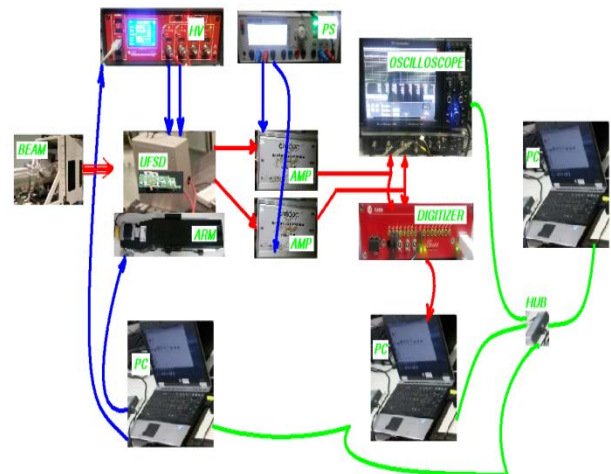
اکنون می توان به صورت آنلاین نیز تحلیل و بررسی سیگنالها را انجام داد.

چون هنگام آزمایش به جهت رعایت اصول ایمنی تابشها نباید کسی در اتاق حضور داشته باشد، لذا اسیلوسکوپ و کامپیوترها را به یک هاب سوئیچ متصل کرده و یک شبکه کامپیوتری کوچک ساخته می شود تا بتوان از اتاق مجاور توسط یک کامپیوتر دیگر دو کامپیوتر داخل اتاق آزمایش و همچنین اسیلوسکوپ را کنترل نمود.

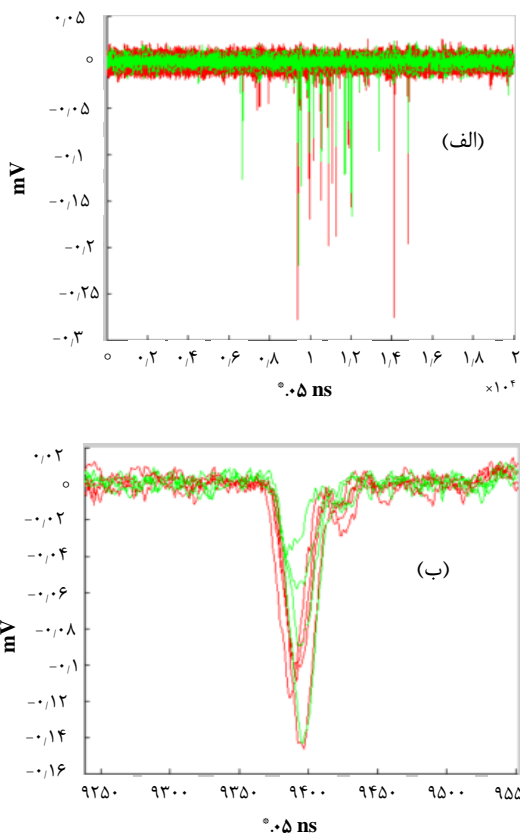
نمونه سیگنالهای به دست آمده و پیاده سازی روش CFD جهت تجزیه تحلیل آنها در شکل های ۴ و ۵ آمده است. با توجه به اشکال سیگنالهای دریافتی، چون بسیاری از سیگنالها در هنگام تحریک دامنه ندارند و شبیه نویز هستند، لذا باید حذف شوند تا نهایتاً به عنوان سیگنال خروجی ثبت نشوند. ماکزیمم دامنه سیگنالها حدود 0.15 میلی ولت بوده است و کم تر از 0.04 میلی ولت نویز محسوب می شود لذا نهایتاً سیگنالهای قابل قبول در این محدوده ولتاژ مورد بررسی قرار می گیرند.



شکل ۲. یک جفت برد آشکارساز سیلیکونی فوق سریع ($1\text{ mm}^2 \times 50\ \mu\text{m}$).



شکل ۳. اتصالات در آزمایش CNAO.



شکل ۴. نمونه سیگنالهای موجود در مجموعه داده های گرفته شده از آزمایش CNAO. (الف) کل سیگنالها و (ب) سیگنالهای قابل قبول را نشان می دهد.

آشکارسازها روی تخت بیمار در مقابل باریکه، توسط بازوی مکانیکی قابل کنترل با کامپیوتر قرار داده شد تا دو آشکارساز به طور دقیق در معرض مستقیم باریکه پروتونی سیلیکونی فوق سریع می توانند توسط بازوی الکترومکانیکی (ARM) با کامپیوتر (PC) به صورت میکرومتری کنترل و جابه جا شوند تا دقیقاً مقابل باریکه پروتونی قرار گیرند. توسط همین کامپیوتر دستگاه مولد ولتاژ بالا (HV) کنترل می شود تا میزان ولتاژ لازم را به آشکارسازها اعمال نماید. خروجی دو آشکارساز جهت تقویت سیگنالهای تولید شده به ورودی تقویت کننده ها متصل می شوند. ولتاژ کاری این تقویت کننده ها توسط یک منبع ولتاژ (PS) تأمین می شود.

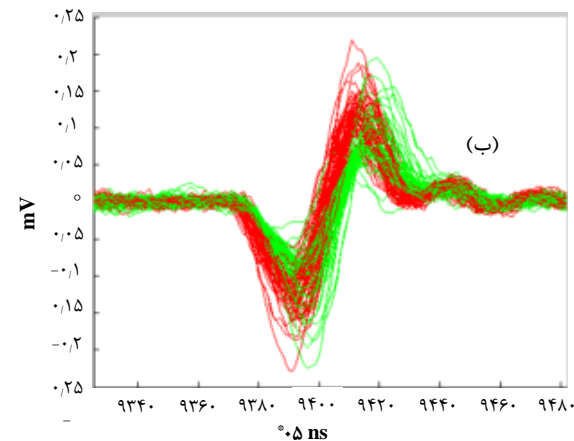
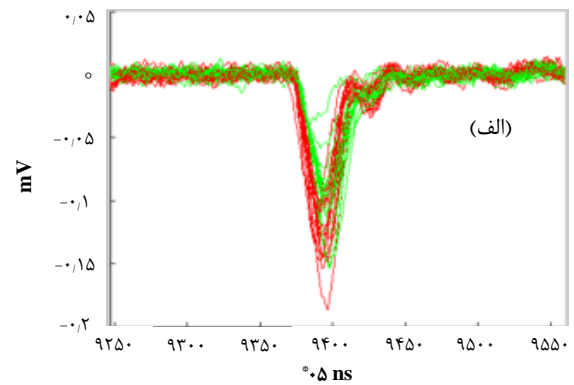
خروجی تقویت کننده ها به طور هم زمان هم به اسیلوسکوپ (Oscilloscope) متصل می گردند تا شکل سیگنالها قابل مشاهده و بررسی شوند و هم به دیجیتایزر (Digitizer) متصل می شوند که یک مبدل آنالوگ به دیجیتال بسیار دقیق در فرکانسهای بالا است. خروجی این مبدل به کامپیوتر (PC) متصل شده تا اعداد و ارقام تولیدی را توسط کامپیوتر دریافت کرده، دسته بندی و در اختیار نرم افزار MATLAB قرار گیرد.



در جدول ۲ به طور خلاصه نوع پرتو و میزان انرژی آن و تحریک همزمان آشکارسازها از یک کانال دستگاه‌های ولتاژ (HV)، یا تحریک مجزا از دو کانال متفاوت برای ثبت سیگنال مشخص شده است. ضمن این‌که انحراف معیار در نقطه گذار از صفر سیگنال‌های ساخته شده در روش CFD، نشان داده شده است، تعداد سیگنال‌های کامل ثبت شده و تعداد سیگنال قابل قبول آورده شده است.

هر چند بسیاری از سیگنال‌ها حذف شدند، نتایج نشان می‌دهد پیاده‌سازی این روش برای سیگنال‌های باقی‌مانده قابل اطمینان و امیدبخش است. برای حدود ۳۰ دسته داده ثبت شده موجود، این کار می‌بایست با دقت انجام شود تا حداکثر تعداد سیگنال قابل قبول جهت پردازش به دست آید. این موضوع پس از اعمال برنامه CFD مشخص شد.

انحراف معیار به دست آمده برای داده‌های یک نوع آشکارساز سیلیکونی فوق‌سریع (بدون تقویت‌کننده داخلی) حدود ۹۰ ps تا ۱۲۰ ps و برای نوع دیگر به نام St.Cruz (با تقویت‌کننده داخلی) حدود ۱۴۵ ps تا ۱۶۸ ps به دست آمد. این اختلاف به طور متوسط حدود ۴۵ ps می‌تواند به دلیل تقویت نویز در St.Cruz باشد.



شکل ۵. نمونه سیگنال‌های مورد بررسی (الف) ثبت شده در آزمایش CNAO-۱ و (ب) منحنی به دست آمده با اجرای روش CFD روی این سیگنال‌ها.

جدول ۲. اجرای روش CFD برای کلیه داده‌های گرفته شده از آزمایش CNAO

ذره	انرژی (MeV)	HV	کاهش‌دهنده	تحریک	کل رویدادها	حوادث واقعی	انحراف معیار
پروتون	۶۰	۱۵۰	۱۰	CH۱+ CH۲	۷۰	۵۷	۹۷ ps
P	۶۰	۱۵۰	۱۰	CH۱ only	۳۰۰	۴۶	۸۹ ps
P	۶۰	۱۵۰	۱۰۰	CH۱+ CH۲	۶۸	۳۶	۸۹ ps
P	۶۰	۱۵۰	۱۰۰	CH۱ only	۵۹۰	۲۷	۱۲۷ ps
P	۲۲۷	۱۵۰	۱۰۰	CH۱+ CH۲	۴۸	۱۲	۸۳ ps
ذره	انرژی (MeV)	HV	کاهش‌دهنده	تحریک	کل رویدادها	حوادث واقعی	انحراف معیار
پروتون	۶۰	۱۵۰	۱۰	CH۱+ CH۲	۷۰	۵۷	۹۷ ps
P	۶۰	۱۵۰	۱۰	CH۱ only	۳۰۰	۴۶	۸۹ ps
P	۶۰	۱۵۰	۱۰۰	CH۱+ CH۲	۶۸	۳۶	۸۹ ps
P	۶۰	۱۵۰	۱۰۰	CH۱ only	۵۹۰	۲۷	۱۲۷ ps
P	۲۲۷	۱۵۰	۱۰۰	CH۱+ CH۲	۴۸	۱۲	۸۳ ps



بالا بردن دقت سیستم درمان تومورهای سرطانی به کار گرفته شوند و در یک روش نوین جهت تصحیح سیستم تحویل دُز استفاده شوند و ثانیاً استفاده از روش CFD جهت تجزیه تحلیل سیگنال‌های خروجی این آشکارسازها با ارائه انحراف معیار حدود ۱۰۰ ps نتایج رضایت‌بخشی را به دست داده است که می‌توان با اطمینان از ابزار CFD جهت ثبت سیگنال‌های خروجی قابل قبول آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع و حذف نویز تا رسیدن به یک شمارش مطلوب ذرات در مقابل باریکه پروتونی استفاده نمود. البته با توجه به نتایج مطلوبی که حاصل شد شیوه آزمایش‌ها و استفاده از روش CFD برای تجزیه تحلیل سیگنال‌ها در فرکانس‌های بالا پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

باعث افتخار است تا از زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغ اساتید عزیز پرفسور روبرتو چیریو و پرفسور وینچنزو موناکو در دانشگاه تورین ایتالیا و هم‌چنین مرکز سرطان درمانی CNAO که نگارنده و همکاران را در انجام آزمایش‌ها یاری نمودند تشکر و قدردانی ویژه شود.

۳.۳ دو آزمایش مشابه دیگر در CNAO

بر اساس تجربیات قبلی دو آزمایش مشابه دیگر در آوریل و نوامبر ۲۰۱۷ انجام شد. این آزمایش‌ها با تغییراتی مثل انتخاب آشکارسازهای متفاوت:

Senors, April (۲۰۱۷) :

A.Mignone board W λ Boron

(۲ short sensors \strip gain + \strip nogain)

B.Mignone board W λ Boron

(۲ long sensors \strip gain + \strip nogain)

موسوم به حسگرهای نواری کوتاه و بلند که یک نوار آن تقویت‌کننده دارد و دیگری ندارد.

Senors, November (۲۰۱۷) :

A = Hamamatsu ۵۰ um circle \mm diameter

B = CNM ۵۰ um ۱,۲×۱,۲mm^۲

C = Hamamatsu ۸۰ um ۳×۳mm^۲

موسوم به حسگرهای دایره‌ای به ضخامت ۵۰ میکرومتر و قطر ۱ میلی‌متر و هم‌چنین حسگرهای مربعی به ضخامت ۵۰ میکرومتر و طول هر ضلع ۱,۲ میلی‌متر و نوع دیگر با ضخامت ۸۰ میکرومتر و طول هر ضلع ۳ میلی‌متر هستند.

هم‌چنین باریکه پروتونی با انرژی‌های مختلف و اعمال ولتاژهای بالا و متفاوت با آزمایش اول انجام شد و داده‌های حاصل از این آزمایش‌ها نیز برای اطمینان بیشتر مورد مطالعه و تجزیه تحلیل قرار گرفت. هر چند شکل سیگنال‌ها گاهی متفاوت و برنامه‌های مختلفی برای تجزیه تحلیل در MATLAB اجرا شد.

اما نهایتاً نتایج به دست آمده مشابه قبل بوده و انحراف معیاری حدود ۱۱۰ ps در روش CFD به دست آمد که با توجه به توضیحات بخش ۲ قابل قبول بود.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به انجام آزمایش‌های متعدد با آشکارسازهای متفاوت و شرایط مختلف توسط نگارنده و همکاران هم‌چنین تجزیه تحلیل سیگنال‌های به دست آمده از این آزمایش‌ها و در واقع مبتنی بر داده‌های کاملاً تجربی و واقعی با استفاده از روش CFD می‌توان گفت اولاً به طور کلی آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع می‌توانند برای شمارش ذرات پروتون در آهنگ گیگاهرتز استفاده شوند و در سیستم DDS جهت شمارش پروتون برای

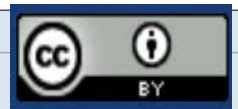


مراجع

1. H.F.W. Sadrozinski et al, *Ultra-fast silicon -detectors, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A* **730**, 226-223 (2013).
2. N. Cartiglia, et al, *Performance of Ultra-Fast Silicon Detectors*, [arXiv:1312.1080v2](https://arxiv.org/abs/1312.1080v2).
3. Francesca Cenna, *Weightfield2:a Fast Simulator for Silicon and Diamond solid state detector, 10th International Conference on Radiation Effects on Semiconductor Materials, Detectors and Devices-Florence*, (October 10th 2014).
4. M. Fadavi Mazinani, A Mowlavi, *Selecting the Best Time Measurement Method for the UFSD Signals, Journal of Nuclear Science and Technology* (In print soon) NST-0009-1683 (R1), (In Persian).
5. Constant fraction discriminator in pulsed time-of-flight laser rangefinding, Ruitong ZHENG, Guan hao WU. *Optoelectron*, **5(2)**, 182–186 (2012).
6. Herv_e Grabas, *Development of a picosecond time-of-flight system in the ATLAS experiment, Other [cond-mat.other]*, *Universit_e Paris Sud - Paris XI*, (2013), English. <NNT :2013PA112304>.
7. *CNAO history*, <http://fondazionecnao.it/en/staff/the-history-of-cnao>.
8. *Programmable Power Supplies 188 W / 384 W R&S®HMP Serie*, www.rohde-schwarz.com.
9. Digitizer Families, *CAEN 2016/2017 Product Catalog*, www.caen.it.
10. User Manual UM2091 WaveDump, *CAEN Digitizer Readout Application, Rev 10-28 April* (2016), www.caen.it.
11. *C6 Fast Charge Amplifier*, www.cividec.at.
12. C2 Broadband Amplifier, 2 GHz, 40 Db, www.cividec.at.
13. WaveRunner 6 Zi Oscilloscopes 400 MHz –4 GHz, teledynelecroy.com.
14. DT14xxET 4 Reversible Channel Desktop HV Power Supply Family with Ethernet & Touchscreen, www.caen.it.
15. UM2463 GECO2020 General Control Software for CAEN HV Power Supplies *Rev, 9-4 April* (2016), www.caen.it.
16. Introduction to LabVIEW, Hans-Petter Halvorsen, 2016-09-07, <http://home.hit.no/~hansha>.
17. Team Viewer 12 Manual-Remote Control, www.teamviewer.com.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

محمد فدوی مزینانی، مسعود خزاعی فدافن، علی اصغر مولوی (۱۴۰۲)، ارزیابی آشکارسازهای سیلیکونی فوق سریع در مقابل باریکه پروتونی با استفاده از روش CFD، ۱۰۵، ۴۹-۵۵

DOI: 10.24200/nst.2022.1039.1701

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1547.html